

汚泥処理よりみたるコンポステイング

内 藤 幸 穂※

1 緒 言

1956年7月23日、フィンランドのヘルシンキで開催された第5回世界保健機構ヨーロッパ地区衛生工学セミナーにおいて、衛生工学実務用語が制定され、上下水道に関する解説用語集が限定版で配布されたことがある。取りあげられた用語は9200語におよぶもので、その解説も簡明に記述されているが、その中で汚泥および堆肥化については、次の如く書かれている。

Sludge : The solid matters settled from water or
sewage, usually in a very wet condition.

Composting : The biological breakdown of organic
solids to stabilize them, producing a
humic substance valuable as a fertilizer
base.

汚泥についてはさておき、堆肥化の中にある humic を知るために、同用語集の腐植土をみると次のように述べられている。

Humus : Stabilized organic matter produced in sewage
treatment.

この堆肥化および腐植土の解説をみても、当然のことながら、両者は理論的に有機物質の生物学的処理に帰一することが云える。

筆者はかねてよりじん芥の堆肥化に興味を持ち、主として文献上の考察を重ねてきたが、今回は下水およびし尿の生物処理によって生じた汚泥を、じん芥と共に処理する方法の可能性について関連資料からこれを論ずることとした。

※ 荏原インフィルコ KK

3 基本的構想

昭和30年、WHOの援助によって、わが国に新しい高速堆肥製造法（High-Rate Composting Process）の技術がもたらせて以来、10年の才月が経過した。この間、全国に数多くのプラントが建設されはしたが、当初の意気込みとくらべればいささか低調で、爆発的な建設ブームをおこすに至らなかった。国家予算も、し尿処理のそれに比べれば僅少で促進の動力にもなり得ない現況である。

高速堆肥製造プラント（以下コンポスト・プラントと称す）の建設が期待通りのブームを引おこさない理由は数々あろうが、その理由の大部分が、1953年カリフォルニア大学ゴタス博士によって提唱された疑問¹⁾そのものであり、未だに解明されずにある多くのもののあることに、筆者は奇異の感をいだくのである。ゴタス博士の疑問を当時の言葉で表現するなら、

- (1) コンポスト・プラントは、じん芥および下水汚泥の処理に適切な経済的かつ衛生的な方法であろうか。
- (2) もしコンポスト・プラントが、経済的に適当なものであるなら、何か他に特記するような欠点があるのか。
- (3) もしコンポスト・プラントが、経済的に適当なものであり、その将来性のあるものならば、この方法が市町村の廃物処理になぜ広く用いられないのだろうか。
- (4) コンポスト・プラントを市町村が運営した場合、事業的に独立経営が可能であろうか。

の4項目にしばることができる。

これら4項目の疑問とわが国のコンポスト・プラントと対照しながら現状を考察するなら、現存するコンポスト・プラントはその大部分が独立経営なぞはおよびもつかぬものと云わざるを得ない。昭和39年運転を開始したK市では、製造された一級品800トン（1,800円/トン）のうち売れたものは60

トンのみで、二級品 350 トンと等外品 400 トンは処理場に山積となっていると云った状態²⁾で、製品が滞貨しないプラントは数少ない現状である。一方、じん芥処理が市町村個有の事務として公共性を十二分に帯びたものである以上、じん芥が安全無害に処理されさえすれば、市町村としての一応の目的は達成したと考えなければならないだろうが、製品が滞貨してその捨場もないとあっては、市町村の責務は解消したものとするわけにはいかず、その状態が勢いコンポスト・プラントの不信感となってあらわれるのである。

これらの直面する現実問題を解決するためには、じん芥の処場方法としては効果的なコンポスト・プラントにおいて、し尿あるいは下水汚泥をあわせ処理することによって一石二鳥の効果を期待するか、あるいはまた製品の販売について積極的な対策をたてる以外に方法はなさそうである。もちろん、下水汚泥がじん芥と併合処理されてもやはり製品の販売は依然として残る問題であるかもしれないが、その処分に問題の多い汚泥をあわせて処理しようと云うことによって、コンポスト・プラント建設に新しい一步を踏み出すことができるのではないだろうか。

3 下水汚泥とじん芥の併合処理限度

去る 8 月都市センターで開かれた第 2 回国際水質汚濁研究会議でドイツのブラウン氏は次の如く述べている。³⁾

「中小都市においては、じん芥と下水汚泥の併合処理によるコンポスト・プラントは、汚泥処理問題の最もすぐれた解決法と考える。汚泥が完全に消化され、濃縮されていれば、汚泥は同量のじん芥と併合処理することが可能である。高速堆肥化法が発達すれば、汚泥を添加することによって製品の肥料効果は上昇し、じん芥のみによるコンポストよりはるかに良質となる。併合コンポスト・プラントは、汚泥の焼却法よりも秀れていると云えよう。」

一方，米国のケニオン氏は，⁴⁾じん芥に消化汚泥を添加しても充分堆肥化は完成するが，消化汚泥を過剰に加えると堆肥化は阻害され，重量比で15%以下が最も適当であろうと述べている。さらにドイツのバーデン・バーデンでは，⁵⁾含水率75%の汚泥が，重量比でじん芥の25%添加され，含水率35～40%の製品を得ている。

以上の文献に頼るまでもなく，高速堆肥化を促進させるために必要な被堆肥化物の水分は通常50～65%が好ましいものとされているので，既にこの含水率に近い水分を有するじん芥に，汚泥を添加する量には自から限度がある。今，この限度を簡単な計算式で求めると次の如くなる。

じん芥の量を1人1日当り0.5Kgとし，内70%を堆肥化可能物とすれば0.35Kgとなり，その含水率を m_1 とする。また，添加されるべき汚泥の量を1人1日当り x Kg，その含水率を m_2 とする。

①併合后65%の含水率：

$$x m_2 + 0.35 m_1 = 65 (x + 0.35) \dots\dots\dots (1)$$

(1)式より各値を求めると，表—1 となる。

表—1 併合后65%の含水率の場合の各値

じん芥含水率 m_1 (%)	消化汚泥の含水率 $m_2 = 95\%$	" $m_2 = 90\%$	" $m_2 = 85\%$	" $m_2 = 80\%$	" $m_2 = 75\%$
	汚泥量 x (Kg)	" x (Kg)	" x (Kg)	" x (Kg)	" x (Kg)
40	0.29	0.35*	0.44	0.58	0.88
50	0.18	0.21	0.26	0.35**	0.53
60	0.06	0.07	0.09	0.12	0.18

② 併合后60%の含水率

$$x m_2 + 0.35 m_1 = 60 (x + 0.35) \dots\dots\dots (2)$$

(2)式より各値を求めると，表—2 となる。

表 一 2 併合后 60%の含水率の場合の各値

じん芥含水率 m_1 (%)	汚泥の含水率 $m_2 = 95\%$	" $m_2 = 90\%$	" $m_2 = 85\%$	" $m_2 = 80\%$	" $m_2 = 75\%$
	消化汚泥量 x (Kg)	" x (Kg)	" x (Kg)	" x (Kg)	" x (Kg)
40	0.20	0.24	0.28	0.35	0.47
50	0.10	0.12☆	0.14	0.18☆☆	0.23
60	0	0	0	0	0

以上を通観すると併合后 65%の場合には、じん芥含水率 45%として汚泥含水率 90%のものが、じん芥と同量^{*}、じん芥含水率 50%として消化汚泥含水率 80%のものが、じん芥と同量^{**}、併合処理され得る計算となる。また、併合后 60%の場合には、じん芥含水率 50%として汚泥含水率 90%のものが、じん芥の 40% (重量比) ☆、じん芥含水率 50%として汚泥含水率 80%のものが、じん芥の約半量 ☆☆、併合処理され得る計算となる。

しかし、いずれもじん芥と汚泥が均一に混合され、併合後の含水率をもって堆肥化が促進されると云う仮定に基ずいた計算であるので、実際には全く適さぬものであるが、一般的な考え方として、じん芥と汚泥を併合処理するには、両者の含水率をできるだけ下げなければ、両者を同量併合処理することは難かしいと云うことが云える。云いかえれば、わが国各地の実際のじん芥含水率から見れば、じん芥のみを高速堆肥化することが手一杯であるので、汚泥を添加する場合には、機械脱水によってできる限り含水率をさげて併合処理すべきである。さらに云い方をかえれば、汚泥の脱水が効果的に行なえさえすれば、人間の排泄する汚泥とじん芥とを、人口一人当たり同量の範囲で併合することが可能であるので、下水終末処理場あるいは尿処理場に併設して、コンポスト・プラントを建設すれば、受益区域全人口の排泄物は一応

全部処理され得ることになる。

4 各地の実例

(1) ロンドン

50年近く、汚泥を海に放流していた London Country Council では、Metropolitan Borough Councils と協力して、じん芥と汚泥の併合処理を試み、一応の成功を収めた。当時じん芥は有機物質の含有量が少なく、そのまま堆肥化して農地へ還元しても、肥料効果があまり期待できなかったため、汚泥をまぜて、有機物質の含有量を増大させた。しかし、併合処理された堆肥の需要が意外に少なかったため、併合処理が大規模に実施されることは期待薄である。

(2) バーデン・バーデン⁷⁾

ドイツの Baden — Baden では、じん芥はまず選別され、磁力と人力によって非堆肥化物を除去した後、下水の汚泥を加え、5～6カ月の間野積法によって処理されている。じん芥に加えられる汚泥の含水率は75%で、重量比で1:4の率でじん芥と混合し、35～40%水分の堆肥を得ている。一年を通じて均一な堆肥を得るために、冬期のじん芥にある余分の灰分をストックしておき、夏期のじん芥に加えるようにしている。なお、じん芥に加えられる汚泥は、二段消化槽によって処理された後、汚泥洗滌槽で洗滌されたのである。

(3) 世界保健機構の報告⁸⁾

この報告は、じん芥とし尿の併合処理に関するものであるが、し尿は汲取車によってプラントに運びこまれ、700～1500kgごとの野積により処理されたものについて調査したものである。混合されるものと、堆肥のC/N比は次の通りである。

(し尿) 20% , (土壌) 5% , (厨芥) 75% 堆肥 $\frac{C}{N} = 35$

(し尿) 10%, (馬糞) 15%, (牛糞) 25%, (厨芥) 45%,
(土壌) 5% $C/N = 30$

(し尿) 40%, (馬糞) 7%, (牛糞) 7%, (厨芥) 40%,
(土壌) 6% $C/N = 24$

野積をはじめてから、1～2日目に温度は60℃にあがり、そこで切返しをした後、さらに1～2日間して温度が再び60℃にあがった時に切返しを繰返すのである。この作業を繰返し行ないながら、3週間程すると堆肥化は完成する。

(4) 鹿沼市総合処理場⁹⁾

昭和36年9月完成し運転に入ったこの処理場では、1日36klのし尿を嫌気性消化した汚泥を遠心脱水したケーキ2^t/日と、じん芥20^t/日、およびし尿のスクリーン渣の全量を併合処理している。生産されたコンポストは、1トン当り(約2^m³)平均4,000円で売却され、ほとんど滞貨はない。じん芥の組成は、堆肥化可能物約80%,含水率55%が平均値であり、コンポストの含水率は平常40%である。なお、コンポストの分析値は、全窒素0.824%,マンガン(MnO₂) 620ppm, 硼素30.8ppm, 鉄(Fe₂O₃) 1.48%, 灰分52%である。

(5) 小田原市高速堆肥化処理場¹⁰⁾

このプラントでは、現在じん芥21.5^t/日に、1日36klのし尿より得た嫌気性消化汚泥を加え、1日に54^tのコンポストを製産している。製品の分析値は、含水率18.6%, 全窒素0.74%, 全磷酸0.73%, カリ全量0.4%, 粗灰分41.13%である。

5 理論と実際

次に、高速堆肥製造法に関する理論と、実際プラントの運転とのくい違いについて述べてみよう。

(1) 粉 碎

被堆肥化物を粉碎することが、高速堆肥化促進上必要であることは、理論上当然である。粉碎によって粒子を細かくすればする程、空気中の酸素との接触面積がますのであるから、粉碎をされたじん芥や汚泥は、活発な好気性菌の働らきにより、堆肥化期間が短縮される。

しかしながら、実際プラントにおいては、しばしば事前粉碎は失敗に終わっている。たとえば、粉碎負荷を軽減させるために事前選別を行っても、じん芥中には多くの粉碎困難なものを残しているので、粉碎が連続的に行なわれ難い。また、粉碎后ロータリーキルン型の発酵槽をもって処理を続けると、しばし槽内にマッド・ボール状の塊が形成され、その部分の発酵が促進されず、未熟のまま槽外に排出されてしまうのである。

これらのくい違いを是正するためには、粉碎を全工程のあとに廻して、発酵後の堆肥を粉碎し、必要に応じて再び発酵槽に戻す方法がとられるが、これはむしろ他の意味を有しているので、ここでは粉碎機の改良を考えた。事前選別が仲々行なわれ難いことを考慮して、粉碎機は2段式 (Two-Stage) とし、第1段、第2段とも堅型スイングハンマー式を採用し、第1段と第2段の間に 60 cm 角程度の落下開口を設けるとよい。粉碎機の選択を誤ると、発酵が満足に行なわれる保証が期し難いのでさらに研究が必要であり、繊維質・プラスチック・含水率の高い厨芥に対する粉碎能力のテストは、さらに進められなければならない。

(2) 植 種 (Seeding)

1行程を終えた堆肥を粉碎機にかけて、同じ経過により堆肥化を続けると発酵が再びおこり、この操作を数回くりかえすと、良質のコンポストが得られることが、米国フェニックス在伝染病研究所から報告されている。¹¹⁾ この考え方を植種に応用し、粉碎された堆肥を再びもとの発酵槽に戻すことは、堆肥化促進上有効である。しかし、発酵槽のどの部分にどの程度の

堆肥を返送するかは、未だ解明されていない。

いわゆる, secret Bacteria をじん芥に加えることによって発酵を早めることは、かなり以前からとりざたされており、相当強力な宣伝活動が未開発国で行われているが、米国政府研究所、カリフォルニア大学、ミシガン州立大学および神戸市の経験からみると、上記植種と比較して特別効果はないようである。しかしながら、近年発達してきた酵素学の適応酵素の考え方からすれば¹²⁾、堆肥返送による植種とは別に、被堆肥化物に好気性菌の純粋培養に近い Secret Bacteria を加えることによって、被堆肥化物を基質とする酵素が多量に作られて発酵を促進させることも、まんざら不可能ではなさそうである。あるいはまた、返送する堆肥そのものを特殊に培養して添加することによって、適応酵素的な考え方から発酵を促進させることも不可能とは言い切れない。

(3) 温度調節

理論的には、発酵継続中温度を調節することは、発酵を促進する上で必要である。この温度調節に関する研究は余り進められていないが、発酵槽始点における温度をあまり上昇させずに、35～40℃に温度をおさえておいた方が、製産されるコンポストの性状を良質化し得ると云われている。

酸素消費量は、温度の上昇に比例することは各地の実例がこれを証明しているが、実際問題として温度調節が困難であるために実際プラントでは、発酵槽の各点における空気の量を調節することによって、大部分の目的を達している。なお、ワイリー氏によれば¹³⁾、炭酸ガス発生量(Y)と、温度(X)との関係は、次式をもって表わされている。

$$\text{Log } Y = 0.01012 X - 0.4084 \dots \dots \dots (3)$$

さらにまた、水分の蒸発量(Y)と、温度(X)との関係は、次式によると云われている。

$$\text{Log } Y = 0.009142 X - 0.1619 \dots \dots \dots (4)$$

(4) 水分調節

前述の如く、多くの実例により、被堆肥化物の含水率は50～65%の範囲にあることが、堆肥化促進上すぐれていると云われている。

もちろん、含水率が低すぎると、好気性菌の新陳代謝を保持し得なくなり、また一方、余りにしめりすぎると、固形物質間の空気が水分により満され、酸素の供給が不十分となるので、堆肥化が困難となる。この理論は確かに正しいものかもしれないが、わが国のように降雨の多い場合や、じん芥に可能な限り汚泥を添加するような場合には、含水率の範囲を50～65%に収めることは、なかなか困難であるので、特に含水率が高く発酵状態が思わしくないような場合に、おこ屑のようなものを添加して含水率を調節するような方法も考えられる。

6. 結 論

じん芥と汚泥の併合処理については、上記実例の他にスイスおよびドイツにおいても、相当活発に行なわれつつあることが、先日の国際会議に來日したヤーク博士から述べられていた。たとえば、スイスにおいては、汚泥を含水率70%にまで脱水したのちにじん芥に加えているが、その量は汚泥の脱水以前においてじん芥とほぼ同量であると云う。また、添加すべき汚泥は、消化汚泥よりも活性の高い生汚泥を加える方が効果はすぐれているとの話である。さらに、ドイツのベルリン市でも、消化汚泥を天日乾燥によって含水率70%に脱水したのち、じん芥とあわせ処理しているとのことである。

以上各地の実例から、じん芥と汚泥の併合処理は必らずや成功の道が開かれるものと信ずるが、一応の結論として次の事柄を述べておこう。

- (1) じん芥そのものを堆肥化するよりも、汚泥を加えて堆肥化した方が、肥料効果から云ってもすぐれているものと考えられる。

- (2) 現場向の表現からすれば，前選別を行なった後のじん芥2容積に対して，濃縮された汚泥1容積を加える併合処理が好ましい姿であろう。
- (3) 理論と実際のくい違いを最少限にとどめるために，コンポスト・プラントの研究は更に進められなければならない，僅か10年そこそこの経験のみから高速堆肥化製造法に疑問をもつことは早計である。
- (4) 多くの疑問を排除するために，コンポスト・プラントの建設および管理に任ずる公共機関では，生産されたコンポストの販売について，もっと積極的であるべきである。

参 考 文 献

- (1)：内 藤 幸 穂 ； “米国におけるし尿並にじん芥処理の現状”，公衆衛生，9月，1957
- (2)：日本水道新聞；“買い手がつかない”，4月20日，1964
- (3)：Braun,R.;“Problems of sludge disposal”,Pre—print, the Second International Conference on water Pollution Research, Aug., 1964
- (4)：Kenyon,R.J.,“A new method of garbage disposal”,Public works, June, 1952
- (5)：Straub,H.;“The production of compost from sewage and garbage”, Abs.Sewage works Journal, June, 1951
- (6)：Warlow,W.P.;“Disposal of sewage sludge by composting with house—hold refuse”, Sewage Works Journal, Aug., 1951
- (7)：Straub,H.;“The production of compost from sewage and garbage”, Abs.Sewage Works Journal, June, 1951
- (8)：Scott,J.C.;“Health aspects of composting with night—soil”, WHO, Expert Committee on Environmental Sanitation,

3rd Session, Geneva, July, 1953

- (9): 六角 見 孝; “コンポストについて”, 資源 6 月号, 1963
- (10): 松 山 正; “小田原市高速堆肥化処理場の処理状況と実績”, 資源 6 月号, 1963
- (11): Wiley, J. S.; “Biscatalysts”, Sewage works Journal, may, 1955
- (12): 広 瀬 孝六郎; “水処理技術の鍵をとくもの”, Vol. 4, No. 6, 1963
- (13): Wiley, J. S.; “Studies of high-rate composting of garbage and refuse”, 10th Industrial waste Conference, May 9~11, 1955